

Евгений Александрович Демин^{1✉}, Ольга Александровна Шахова²,
Станислав Сергеевич Миллер³, Елена Ивановна Миллер⁴

^{1,2,3,4}Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

¹gambitn2013@yandex.ru

²shahovaoa@gausz.ru

³millerss@gausz.ru

⁴miller.ei@asp.gausz.ru

ТЕМПЕРАТУРА И ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ КАК ФАКТОР СКОРОСТИ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПОСЕВАХ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПАРОВ

Цель исследований – установить влияние температуры и влажности почвы на динамику эмиссии диоксида углерода в посевах различных сельскохозяйственных культур и паров. Исследование проводили в 2023–2024 гг. в посевах яровой пшеницы, кукурузы, люцерны, черного и занятого паров. Измерение эмиссии диоксида углерода проводили методом закрытых камер. Динамика температуры и влажности почвы в течение вегетации зависит от погодных условий, вида возделываемой культуры, паров и варьирует в диапазоне 7,8–21,2 °C и 16,7–31,1 %. Эмиссия диоксида углерода в посевах яровой пшеницы варьирует в диапазоне 12,6–113,0 кг/га в сутки, в посевах люцерны – 32,6–151,0 кг/га в сутки и кукурузы – в диапазоне 17,0–146,7 кг/га в сутки. В черном и занятом парах эмиссия CO₂ ниже, чем в посевах яровой пшеницы, на 34–62 % (14,6–51,2 кг/га) и 22–55 % (15,7–44,9 кг/га). Установлена сильная связь между эмиссией диоксида углерода и температурой почвы в посевах яровой пшеницы ($r = 0,81$), люцерны ($r = 0,81$), кукурузы ($r = 0,91$), черном ($r = 0,77$) и занятом пару ($r = 0,77$). Расчеты позволили выяснить, что изменение температуры почвы на ± 1 °C приводит к изменению эмиссии CO₂ в сутки по схеме: черный пар ($\pm 3,4$ кг/га) < занятый пар ($\pm 4,3$ кг/га) < яровая пшеница ($\pm 7,7$ кг/га) < кукуруза ($\pm 10,2$ кг/га) < люцерна ($\pm 10,5$ кг/га). Связь средней силы отмечалась между влажностью почвы и эмиссией CO₂ в посевах яровой пшеницы ($r = 0,66$), кукурузы ($r = 0,65$), люцерны ($r = 0,54$). В паровых полях была слабая корреляция ($r = 0,21–0,22$). Изменение влажности почвы на ± 1 % способствует изменению интенсивности эмиссии в сутки на $\pm 2,4$ кг/га в посевах яровой пшеницы, на $\pm 2,7$ кг/га в посевах люцерны и на 3,7 кг/га в посевах кукурузы.

Ключевые слова: углекислый газ, корреляция, яровая пшеница, кукуруза, люцерна, занятый пар, черный пар

Для цитирования: Демин Е.А., Шахова О.А., Миллер С.С., и др. Температура и влажность почвы как фактор скорости эмиссии диоксида углерода в посевах различных сельскохозяйственных культур и паров // Вестник КрасГАУ. 2025. № 11. С. 35–46. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-35-46.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005.

Evgeny Alexandrovich Demin^{1✉}, Olga Alexandrovna Shakhova²,
Stanislav Sergeevich Miller³, Elena Ivanovna Miller⁴

^{1,2,3,4}Tyumen State University, Tyumen, Russia

¹gambitn2013@yandex.ru

²shahovaoa@gausz.ru

³millerss@gausz.ru

⁴miller.ei@asp.gausz.ru

SOIL TEMPERATURE AND MOISTURE AS A FACTOR IN THE RATE OF CARBON DIOXIDE EMISSION IN CROPS OF VARIOUS AGRICULTURAL CROPS AND FALLOWS

The objective of the study is to establish the influence of soil temperature and moisture on the dynamics of carbon dioxide emissions in crops of various agricultural crops and fallows. The study was conducted in 2023–2024 in crops of spring wheat, corn, alfalfa, black and occupied fallows. Carbon dioxide emissions were measured using a closed chamber method. The dynamics of soil temperature and moisture during the growing season depend on weather conditions, the type of crop grown, and fallows and vary in the range of 7.8–21.2 °C and 16.7–31.1 %. Carbon dioxide emissions in spring wheat crops vary in the range of 12.6–113.0 kg/ha per day, in alfalfa crops – 32.6–151.0 kg/ha per day, and in corn – in the range of 17.0–146.7 kg/ha per day. In black and seeded fallows, CO₂ emissions are lower than in spring wheat crops by 34–62 % (14.6–51.2 kg/ha) and 22–55 % (15.7–44.9 kg/ha). A strong relationship was established between carbon dioxide emissions and soil temperature in spring wheat crops ($r = 0.81$), alfalfa ($r = 0.81$), corn ($r = 0.91$), black ($r = 0.77$), and seeded fallow ($r = 0.77$). Calculations revealed that a change in soil temperature by ± 1 °C leads to a change in CO₂ emissions per day according to the following scheme: black fallow (± 3.4 kg/ha) < occupied fallow (± 4.3 kg/ha) < spring wheat (± 7.7 kg/ha) < corn (± 10.2 kg/ha) < alfalfa (± 10.5 kg/ha). A moderate-strength relationship was observed between soil moisture and CO₂ emissions in spring wheat ($r = 0.66$), corn ($r = 0.65$), and alfalfa ($r = 0.54$) crops. A weak correlation was observed in fallow fields ($r = 0.21$ – 0.22). A ± 1 % change in soil moisture leads to a daily change in emission intensity of ± 2.4 kg/ha in spring wheat, ± 2.7 kg/ha in alfalfa, and 3.7 kg/ha in corn.

Keywords: carbon dioxide, correlation, spring wheat, corn, alfalfa, occupied fallow, bare fallow

For citation: Demin EA, Shakhova OA, Miller SS, et al. Soil temperature and moisture as a factor in the rate of carbon dioxide emission in crops of various agricultural crops and fallows. *Bulletin of KSAU*. 2025;(11):35-46. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-35-46.

Funding: this study was supported by grant No. 23-76-10005 from the Russian Science Foundation.

Введение. Современное общество в настоящее время решает ряд глобальных проблем, к одной из основных относится изменение климата. В последние годы отмечается повышение среднегодовой температуры воздуха в мире. По последним данным, температура атмосферы за последнее столетие увеличилась на 1,5 °C, что является критическим, и некоторые исследователи считают, что данный переход температуры является отрывной точкой невозврата, когда может произойти более существенное изменение, не поддающееся контролю человека [1, 2]. Повышение температуры воздуха исследователи связывают с возрастанием концентрации парниковых газов в атмосфере, выбросы которых увеличились в разы за последние несколько десятилетий из-за повышения численности населения и потребности людей в обеспечении их благополучия. В связи с чем увеличивается доля перерабатывающих предприятий и интенсивная нагрузка на экосистемы [3]. К основным из наиболее негативно влияющих на климат газов относятся метан и углекислый газ, которые напрямую связаны не только с добычей и сжиганием углеводородного сырья перерабатывающими предприятиями, но и с сельским хозяйством [4]. В ре-

зультате выращивания сельскохозяйственных животных и птицы, а также переработки основной и побочной продукции животноводства выделяется высокое количество метана, углекислого газа, чуть меньше выделяется закиси азота. Это происходит из-за ферментативной активности в желудочно-кишечном тракте животных, а также из-за микробиологической активности в результате процесса компостирования и вылежки пробочных продуктов, а именно навоза и помета, необходимых для перехода в органические удобрения [5, 6].

Отрасль растениеводства оказывает не менее негативный эффект, в агроценозах в результате обработки почвы улучшается аэрация обрабатываемого слоя, что приводит к усилению процесса минерализации органического вещества, увеличивается численность аэробных микроорганизмов, улучшается развитие корневой системы и образуется дефицит органических остатков растений в сравнении с естественными экосистемами. Это приводит к тому, что повышается количество эмиссии диоксида углерода и нарушается естественный процесс почвообразования в результате образующегося дефицитного баланса органического

углерода, поступающего в почву с побочной продукцией растениеводства [7]. Использование минеральных удобрений, в частности азотных, особенно без научного обоснования, приводит к тому, что увеличивается эмиссия закиси азота из почв, а также нарушается качественный состав групп почвенных микроорганизмов. Это связано с тем, что азот, находящийся в почве, особенно неусвоенный растениями из-за нерационального внесения, является катализатором активности и развития микробной массы почвы, в связи с чем повышается целлюлозоразлагающая активность почвы [8]. В ряде работ указано, что в зависимости от видов возделываемых культур интенсивность эмиссии диоксида углерода и почвы может существенно меняться. Исследователи это связывают с несколькими основными причинами. Первая – это масса корневой системы, которая непосредственно участвует в газообмене системы «почва–растение», а по мнению М.Г. Кастировой с соавторами (2021), вклад корней в дыхание почвы может достигать порядка 41–46 % от суммарной эмиссии [9]. Вторая причина – это симбиоз некоторых видов растений с определенными микробными группами, количество которых при этом может увеличиваться в несколько раз, что также влияет на дыхание почвы и общую эмиссию диоксида углерода [10]. Третья причина – это количество поступающих в почву органических растительных остатков, в зависимости от которых увеличивается или снижается численность микробной массы почвы и, как следствие, ее дыхание [11]. Однако наиболее важным фактором, влияющим на процесс дыхания почвы, являются тип почвы на сельскохозяйственных угодьях и его бонитет, который совместно с изменяющимися в течение вегетации погодными условиями оказывают существенный вклад в эмиссию почв [12, 13]. В ряде работ исследователи отмечали, что высокая линейная зависимость встречается между температурой как почвы, так и атмосферной с продуцированием диоксида углерода [14, 15]. Корреляция средней силы образуется между запасами влаги в почве и ее дыханием [16]. В связи с этим для прогнозирования суммарных потоков диоксида углерода в агроценозах необходимо проведение исследований, направленных на определение динамики эмиссии углекислого газа в посевах различных сельскохозяйственных культур и паров, с учетом изменения динамических пара-

метров почвы в течение вегетации, а именно – влажности и температуры.

Цель исследования – установить влияние динамически изменяющихся параметров почвы в течение вегетации на эмиссию углекислого газа в различных типах агроэкосистем.

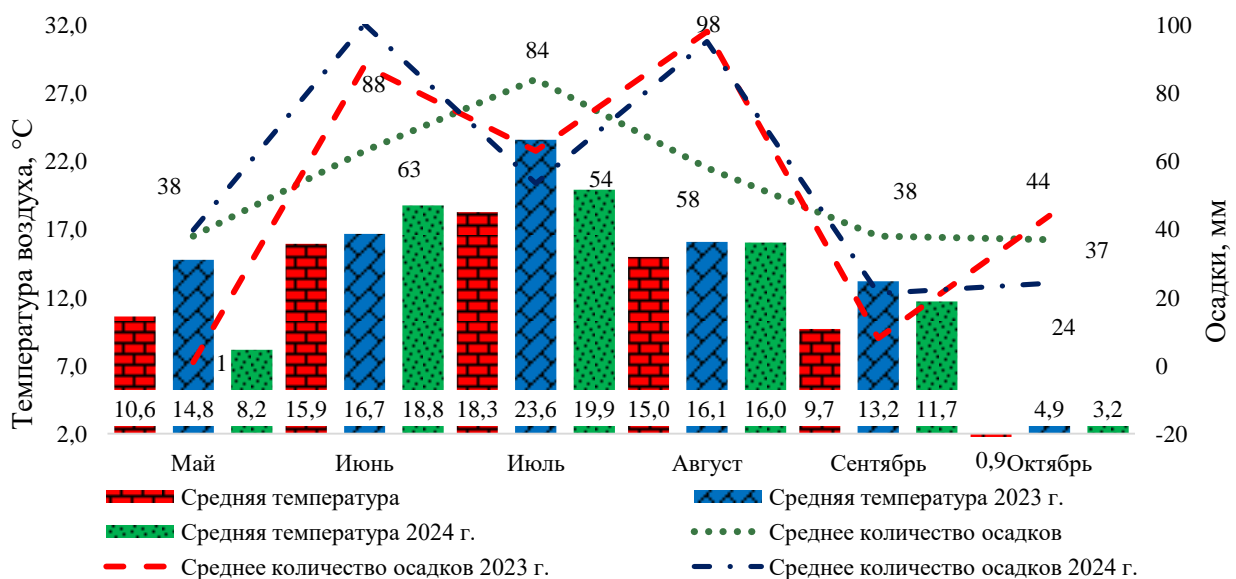
Задачи: определить динамически изменяющиеся параметры почвы (температура и влажность) в различных типах агроэкосистем в течение вегетации; установить эмиссию диоксида углерода в различных типах агроэкосистем в зависимости от изменяющихся параметров почвы (температура и влажность).

Объекты и методы. Исследование было проведено в 2023–2024 гг. на опытном участке ГАУ Северного Зауралья в лесостепной зоне. Почва участка – чернозем выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый. Данная почва является основной, наиболее плодородной почвой в регионе. Схема опыта была представлена тремя наиболее распространенными культурами в регионе (яровая пшеница, кукуруза и люцерна второго года пользования), а также парами (черный и занятый), в занятом пару высевалась злаково-бобовая смесь. Агротехническое обеспечение существенно не отличалось от традиционной технологии. Вспашку осенью проводили на всех вариантах, за исключением люцерны второго года пользования после уборки предшественника на глубину 20–22 см. Для яровой пшеницы предшественником были однолетние травы, для кукурузы и занятого пара – овес, для люцерны и черного пара – ячмень. Весной на всех вариантах проводили боронование в два следа зубowymi боронами. Дальше под яровую пшеницу, кукурузу, однолетние травы проводили культивацию КПС-4 на глубину 6–8 см, и сеяли СЗМ-5,4 на глубину 5–6 см яровую пшеницу, однолетние травы и кукурузу СУПН-8А на глубину 6–8 см. Уборку однолетних трав проводили в фазу бутонизации гороха на зеленую массу (II–III декады июля), яровую пшеницу убирали в фазу полной спелости (III декада августа, начало сентября). Кукурузу убирали на зеленую массу в фазу молочной восковой спелости зерна (I декада сентября). В посевах люцерны проводили два укоса. Летом черный пар культивировали во II декаде июня и I декаде августа. Перепашку проводили во II декаде сентября. На всех исследуемых участках удобрения не вносили.

Дыхание почвы определяли в теплый период (май – октябрь) с применением газоанализаторов методом закрытых камер. Периодичность измерений составляла 10–16 суток, повторность 3-кратная. Для измерения температуры почвы в слое 0–30 см применяли почвенные электронные термометры, для определения влажности почвы отбирали образцы почвы послойно 0–10; 10–20 и 20–30 см и определяли влажность гравиметрическим методом. В 2024 г. измерение влажности и температуры почвы проводили с помощью установленных в систему PriEco PRI-

8610 комплектных электронных датчиков. Статистическую обработку полученных данных выполняли с помощью табличного процессора MS Excel (надстройка «Анализ данных»).

Погодные условия вегетационного периода исследуемых годов были различными. 2023 г. характеризовался как умеренно теплый и увлажненный, ГТК составлял 1,0 ед., в 2024 г. ГТК составлял 1,4 ед. и в период вегетации характеризовался как избыточно увлажненный. Более подробно с погодными условиями можно ознакомиться на рисунке.



Погодные условия периода исследований
Weather conditions during the research period

Результаты и их обсуждение. Температурный режим почвы меняется в течение вегетации в зависимости от погодных условий (температура воздуха, количество осадков, скорость ветра, активность солнечной радиации), а также фазы развития основной культуры, которая оказывает влияние на проницаемость солнечной радиации к поверхности почвы и интенсивность скорости ветра

В мае в посевах основной зерновой культуры в регионе (яровой пшеницы) почва прогревалась до 10,5 °C и существенно не отличалась от значений температуры под посевами люцерны (10,8 °C) и кукурузы (10,6 °C) при НСР₀₅ = 0,3 °C (табл. 1). В паровых полях температура почвы была выше в черном пару (0,9 °C), занятом пару (0,5 °C). Различия в температуре почвы в паровых полях и под посевами культурных растений связаны с тем, что посев однолетних трав ежегодно проводили после посева основных

культур, и их полное отсутствие в черном пару привело к тому, что солнечная радиация лучше усваивалась на открытых участках, где почва быстрее прогревалась. В июне средняя температура почвы увеличивалась на всех вариантах на 49–57 % (5,4–6,2 °C). В посевах зерновой культуры (яровой пшеницы) она возрастала на 57 %, в посевах многолетних трав (люцерны), пропашной культуры (кукурузы) и в посевах однолетних трав достоверных изменений относительно зерновой культуры не отмечалось. Это связано с тем, что развитие культур происходило равномерно и их биомасса находилась примерно на одном уровне, что не позволяло солнечной радиации оказывать свой вклад в температурный режим почвы. В черном пару, где отсутствовала основная культура, вклад солнечной радиации начинал отмечаться, почва прогревалась лучше на 0,7 °C, чем под другими изучаемыми культурами.

Пик температуры почвы приходился на середину лета (июль) и достигал значений 18,1–21,2 °С под изучаемыми культурами. Это связано с тем, что в нашей климатической зоне наиболее теплым месяцем считается июль. В связи с этим на почву влияние оказывает как температура воздуха, так и наиболее активная солнечная радиация. Максимальная температура почвы при этом также отмечалась в черном пару – 21,2 °С. Различия в температуре почвы, наблюдаемые в июле, связаны с тем, что различные виды культурных растений развиваются неравномерно. У люцерны с конца июня начинается активный рост, который приводит к увеличению листовой поверхности и затенению почвы, что снижает влияние солнечной радиации на температурный режим почвы. В то время как широкорядный посев кукурузы приводит к тому, что междурядья не полностью затенены листовой поверхностью. В чистом пару из-за отсутствия растений солнечная радиация беспрепятственно доходит до почвы, в связи с чем ее температура становится выше. Отсутствие различий в температуре почвы между яровой пшеницей и занятым паром, скорее всего, связано с тем, что листовая поверхность посеянной на несколько недель раньше яровой пшеницы находится на одном уровне с биомассой смешанных посевов овса и гороха.

В дальнейшем происходит изменение температурного режима почвы в сторону уменьшения. Это связано с понижением атмосферной температуры и снижением активности солнечной радиации из-за изменения светового дня. На всех вариантах относительно пиковых значений июля почва к августу остывала на 6–16 %. Минимальные значения были отмечены в посевах яровой пшеницы и люцерны – 16,9 и 17,0 °С, под кукурузой и в паровых полях значения варьировали от 17,6 до 17,7 °С.

К сентябрю температура почвы продолжала опускаться на всех исследуемых культурах и парах на 3,9–5,0 °С. На участке под яровой пшеницей и занятым паром температура снизилась до 12,5–12,6 °С. На участках почвы с кукурузой температура была немного выше, чем под яровой пшеницей, – на 0,4 °С, а под люцерной и черным паром – на 0,7 и 1,1 °С. В октябре почва остывала до 7,8–8,3 °С на всех исследуемых вариантах. Практически полное отсутствие различия в температуре почвы на изучаемых вариантах связано с тем, что была проведена уборка и обработка почвы под зерновыми, пропашными культурами, а также паровых полей, а растения люцерны прошли активную фазу роста. В связи с этим биомасса растений переставала оказывать существенное влияние на температурный режим почвы.

Таблица 1

Температура почвы под посевами различных сельскохозяйственных культур и паров, °С
Soil temperature under crops of various agricultural crops and fallows, °C

Вариант	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Яровая пшеница	10,5	16,5	19,7	16,9	12,5	7,8
Люцерна	10,8	16,3	18,1	17,0	13,2	8,3
Кукуруза	10,6	16,8	20,7	17,7	12,9	7,9
Черный пар	11,4	17,2	21,2	17,7	13,6	8,3
Занятый пар	11,0	16,4	19,9	17,6	12,6	7,9
НСР ₀₅	0,3	0,4	0,6	0,5	0,3	0,4

Влажность почвы в слое 0–30 см в течение вегетации сельскохозяйственных культур и паров варьировала в диапазоне от 16,7 до 31,1 % (табл. 2). Изменение влажности почвы напрямую связано с количеством выпадающих осадков в изучаемом периоде, а также микроклиматом под различными видами культур с разницей в биомассе растений, которая участвовала в затенении почвы и интенсивности проветривания междурядий. Весной в период посевных

работ (май) влажность почвы находилась на уровне $(24,7 \pm 1,4) \%$ под всеми вариантами. Исключением являлся вариант с посевами многолетних трав (люцерной), тут влажность была выше – 26,2 %. Возможные отличия во влажности почвы могут быть связаны тем, что отсутствие весенних посевных работ в посевах многолетних трав позволило снизить расход воды в результате испарения.

Выпадение высокого количества осадков в начале и середине лета (июне и июле) обеспечивало повышение влажности почвы на всех вариантах на 1,1–3,9 %, однако бинарные посевы гороха и овса усваивали больше влаги из почвы, что приводило к незначительному понижению запасов влаги. В конце лета (август) влажность почвы существенно снижалась – более чем на 2–7 %. Это может быть связано с тем, что культуры активно усваивали влагу из почвы, в то время как в занятом пару из-за уборки однолетних трав и обработки почвы водопотребление отсутствовало. В сентябре изменение влажности почвы отмечалось на всех вариантах (1,1–2,4 %) за иск-

лючением яровой пшеницы. Отсутствие изменений может быть связано с уборкой яровой пшеницы и проведением обработки почвы, что приводило к отсутствию водопотребления. К октябрю из-за дефицита осадков отмечалось существенное понижение влажности почвы на всех вариантах (на 3,7–7,5 %), наиболее существенное уменьшение влажности было в посевах люцерны. Это связано с тем, что люцерна продолжает активно развиваться и усваивать почвенную влагу, в то время как почва на других участках после проведения основной обработки остается без растений.

Таблица 2

Влажность почвы под посевами различных сельскохозяйственных культур и паров, %
Soil moisture under crops of various agricultural crops and fallows, %

Вариант	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Яровая пшеница	24,7	27,6	29,8	22,3	22,3	17,4
Люцерна	26,2	27,9	31,1	25,8	24,8	17,3
Кукуруза	24,4	25,5	27,8	23,6	22,4	16,7
Черный пар	25,5	26,8	30,7	26,1	23,7	19,7
Занятый пар	25,0	28,5	27,9	25,5	23,2	19,5
НСР ₀₅	1,4	1,6	1,7	1,9	1,4	1,2

Эмиссия диоксида углерода в посевах яровой пшеницы изменялась в широком диапазоне, коэффициент вариации достигал $C_v = 59$ %. В мае среднее продуцирование диоксида углерода в сутки составляло 43,3 кг/га (табл. 3). К июню увеличивалось на 90 % (39,2 кг/га) относительно мая, а к июлю повышалось на 37 % (30,5 кг/га) относительно июня. Возрастание интенсивности дыхания объясняется повышением биологической активности почвы в связи с увеличением численности колоний микроорганизмов из-за приближения температуры почвы к оптимальным для их развития значениям в 20–30 °С. Это в свою очередь приводит к более активной переработке целлюлозы и органического вещества в почве в более простые соединения, в результате чего в качестве побочного продукта образуется углекислый газ [17, 18]. Дополнительно в этот период времени отмечается активный рост растений и увеличивается как поверхностная биомасса, так и масса корней, которая участвует в процессе дыхания. С повышением биомассы корневой системы ее влияние на в общую эмиссию углекислого газа повышается.

Напротив, с понижением температуры воздуха, которое наблюдается с конца лета (август)

активность почвенной микробиоты начинает снижаться. Это приводит к тому, что процессы разложения сложных биохимических веществ почвы начинают затормаживаться и дыхание почвы снижается в августе на 27 % относительно предыдущего месяца. В сентябре, во-первых, из-за продолжающегося снижения температуры почвы и, во-вторых, из-за уменьшения активности корней в результате созревания зерна дыхание почвы сокращалось в два раза. В октябре дыхание почвы под яровой пшеницей снижалось до минимальных значений (12,6 кг/га в сут). Это закономерно и объяснимо самой низкой, отмеченной за исследование температурой воздуха и практически полным отсутствием вклада корней в почвенное дыхание из-за уборки основной культуры.

В исследовании был отмечен высокий уровень зависимости между эмиссией диоксида углерода и температурой ($r = 0,81$) и влажностью ($r = 0,63$) почвы. Расчеты показали, что дыхание почвы изменяется в диапазоне $\pm 7,7$ кг/га в сутки при варьировании температуры на единицу значений и в диапазоне $\pm 2,4$ кг/га при изменении влажности на $\pm 1\%$.

**Эмиссия диоксида углерода из почвы под посевами
различных сельскохозяйственных культур и паров, кг/га в сутки**
**Carbon dioxide emission from soil under crops
of various agricultural crops and fallows, kg/ha per day**

Вариант	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Яровая пшеница	43,3	82,5	113,0	82,0	40,2	12,6
Люцерна	66,8	118,4	151,0	114,8	59,1	32,6
Кукуруза	46,7	104,0	146,7	110,9	54,7	17,0
Черный пар	28,7	47,6	64,2	30,9	22,0	12,6
Занятый пар	27,6	64,5	71,9	37,1	21,8	13,6
НСР ₀₅	8,4	11,3	22,8	16,6	13,8	9,2

В посевах люцерны динамика эмиссии диоксида углерода в течение вегетации изменялась от 32,6 до 151,0 кг/га в сутки, вариация достигала $C_v = 49\%$. С мая по июль отмечалось постепенное повышение дыхания почвы, и в дальнейшем происходило снижение по причине изменения температуры почвы с 10,8 до 18,1 °С и уменьшения до 8,3 °С. В мае среднее продуцирование CO_2 в сутки составляло 66,8 кг/га, что на 54 % (23,5 кг/га) больше, чем в посевах яровой пшеницы. В июле дыхание почвы увеличилось практически в два раза – на 51,6 кг/га в сутки. При этом эмиссия CO_2 была на 43 % (35,9 кг/га) больше чем в посевах яровой пшеницы в этот же период. К июлю продуцирование углекислого газа в сутки возрастало до 151,0 кг/га, что на 27 % (32,6 кг/га) выше значений предыдущего месяца. В августе скорость эмиссии в сутки начинала существенно уменьшаться – до 114,8 кг/га, что ниже значений, полученных в июле, на 24 % (36,2 кг/га). В осенний период дыхание почвы, как и под пшеницей, продолжало опускаться относительно предыдущего месяца на 48 % в сентябре и на 45 % в октябре. При этом на протяжении всего периода исследований дыхание почвы под многолетними травами было выше, чем под зерновыми, на 34–159 %. Значительно большая на протяжении вегетации скорость эмиссии CO_2 в посевах люцерны в сравнении с яровой пшеницей связана с тем, что посевы люцерны были второго года пользования и их корневая система, во-первых, интенсивнее развивалась в начале вегетации и, во-вторых, она значительно больше по массе, чем у яровой пшеницы [19]. Третьим важным фактором, влияющим на более интенсивное дыхание почвы, является то, что люцерна, как бобовая культура, находится в симбиозе с азотфиксирующими бактериями, численность ко-

торых под ее посевами, как показывают исследования, значительно выше, чем под зерновыми культурами. Это приводит к тому, что биологическая активность почвы, численность аборигенной микрофлоры становятся существенно выше, чем под зерновыми культурами, из-за дополнительно накапливаемого азота, который является для них катализатором, а повышение микробного числа почвы приводит к усилению процесса дыхания [20]. Проведение математической обработки данных позволило установить, что в посевах люцерны между температурой почвы и эмиссией диоксида углерода отмечается тесная зависимость ($r = 0,81$). Это позволило установить, что измерение температуры почвы на единицу градуса приводит к изменению интенсивности дыхания почвы в сутки в пределах $\pm 10,5$ кг/га ($R^2 = 0,65$). Корреляция средней силы также отмечалась между влажностью почвы и продуцированием CO_2 ($r = 0,54$). Разработанное уравнение имело низкий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,29$) и показывало, что варьирование влажности почвы на 1 % приводит к варьированию эмиссии CO_2 из почвы на 2,7 кг/га в сутки.

Эмиссия диоксида углерода в посевах кукурузы в мае существенно не отличалась от значений, полученных на участке под яровой пшеницей (46,7 кг/га) при НСР₀₅ = 8,4 кг/га. Несмотря на это, в течение вегетации тенденция по возрастанию и снижению интенсивности дыхания почвы была схожа с яровой пшеницей и люцерной. К июню скорость продуцирования CO_2 постепенно повышалась – до 104,0 кг/га в сутки, что на 123 % (57,3 кг/га) выше значений предыдущего месяца и на 26 % (21,5 кг/га) больше значений, полученных в посевах яровой пшеницы при НСР₀₅ = 11,3 кг/га. К июлю эмиссия углекислого газа в сутки увеличилась на

41 % (42,7 кг/га) относительно предыдущего периода и была выше, чем у яровой пшеницы в этот же период, на 30 % (33,7 кг/га) при НСР₀₅ = 22,8 кг/га. Начиная с августа и до октября происходило постепенное снижение скорости дыхания почвы. К августу эмиссия диоксида углерода уменьшилась на 24 % (35,8 кг/га) относительно предыдущего месяца. При этом дыхание почвы относительно яровой пшеницы было выше на 35 % (28,9 кг/га) при НСР₀₅ = 16,6 кг/га. К сентябрю эмиссия CO₂ уменьшалась относительно прошлого месяца на 51 % (56,2 кг/га), а к октябрю снижение относительно предыдущего месяца составляло 69 % (37,7 кг/га). В сентябре и октябре не отмечалось существенных различий в скорости дыхания почвы в посевах яровой пшеницы и кукурузы, отклонения были на уровне неопределенности. Было установлено, что интенсивность эмиссии CO₂ в посевах кукурузы имеет сильную корреляционную связь с температурой ($r = 0,91$) и среднюю с влажностью почвы ($r = 0,55$). Расчеты показывают, что изменение температуры почвы на единицу градуса приводило к изменению активности дыхания почвы в пределах $\pm 10,2$ кг/га ($R^2 = 0,82$), а варьирование влажности в 1 % изменяет дыхание почвы на $\pm 3,7$ кг/га в сутки ($R^2 = 0,30$). Более высокая интенсивность дыхания, отмеченная в посевах кукурузы в сравнении с яровой пшеницей, связана с более мощной корневой системой у кукурузы, которая оказывает существенный вклад в газообмен почвы [21]. Дополнительная причина – это лучший прогрев почвы в начале и середине лета из-за более широкого посева и долгого смыкания рядов, что приводило к ак-

тивному участию в прогреве почвы солнечной радиации.

В черном пару динамика эмиссии в течение вегетации на протяжении всего исследования, за исключением октября, была существенно ниже, чем под зерновой культурой (яровая пшеница), – на 34–62 %. Объясняется данный факт тем, что в паровых полях в дыхании почвы корневая система не участвует, а процесс эмиссии диоксида углерода связан с численностью и активностью почвенных микроорганизмов и их участием в переработке органического вещества почвы. Весной дыхание почвы не превышало 28,7 кг/га в сутки и постепенно, из-за прогрева почвы и увеличения биологической активности, данный показатель повышался на 35 и 66 % относительно предыдущего месяца. В дальнейшем как и на всех изучаемых вариантах с понижением температуры, дыхание почвы уменьшалось относительно предыдущего месяца на 52 % (33,3 кг/га) к августу, на 29 % (8,9 кг/га) к сентябрю и на 43 % (9,4 кг/га) к октябрю. Проведенные расчеты показали, что высокий уровень зависимости эмиссии диоксида углерода отмечается от температуры почвы ($r = 0,77$) и практически не зависит от влажности почвы ($r = 0,22$). Выведенное уравнение показывает, что дыхание почвы изменяется на $\pm 3,4$ кг/га ($R^2 = 0,60$) при изменении температуры почвы на единицу градуса. Крайне низкий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,05$) уравнения влияния влажности почвы на эмиссию диоксида углерода не позволяет достоверно определить конкретное значение (табл. 4).

Таблица 4

Корреляционная и регрессионная связь между температурой, влажностью почвы и эмиссией диоксида углерода
Correlation and regression relationship between temperature, soil moisture and carbon dioxide emission

Культура, пар	Температура, влажность	r	R ²	Уравнение регрессии
Яровая пшеница	Температура	0,81	0,66	$y = 7,6672x - 45,29$
Яровая пшеница	Влажность	0,63	0,40	$y = 2,4369x + 5,19$
Люцерна	Температура	0,81	0,65	$y = 10,464x - 55,96$
Люцерна	Влажность	0,54	0,29	$y = 2,645x + 24,51$
Кукуруза	Температура	0,91	0,82	$y = 10,157x - 66,88$
Кукуруза	Влажность	0,55	0,30	$y = 3,6731x - 4,28$
Черный пар	Температура	0,77	0,60	$y = 3,3582x - 15,93$
Черный пар	Влажность	0,22	0,05	$y = 0,6268x + 19,19$
Занятый пар	Температура	0,77	0,59	$y = 4,2872x - 21,75$
Занятый пар	Влажность	0,21	0,05	$y = 0,6949x + 23,06$

В занятом пару в мае дыхание почвы было на 36 % (15,7 кг/га) меньше значений, полученных в посевах яровой пшеницы. Это связано с тем, что посев однолетних трав проходил на несколько недель позднее, чем яровой пшеницы, и участие корневой системы в дыхании почвы отсутствовало в мае. К июню отмечалось повышение эмиссии CO₂ на 134 % (36,9 кг/га) относительно предыдущего периода. В сравнении с эмиссией в посевах яровой пшеницы дыхание почвы в занятом пару было выше на 22 % (18,0 кг/га). К июлю скорость продуцирования диоксида углерода увеличивалась до 71,9 кг/га, что на 12 % больше, чем в прошлом периоде. Относительно яровой пшеницы дыхание почвы в занятом пару в этот период было ниже на 37 % (41,1 кг/га). В августе отмечалось резкое снижение скорости дыхания почвы на 48 % (34,8 кг/га) по причине того, что была проведена уборка однолетних трав и дыхание корневой системы прекращалось. К началу осени почвенное дыхание сократилось на 15 % относительно конца лета, объясняется это тем, что в конце лета была проведена вспашка. Расчеты показали, что эмиссия CO₂ существенно зависит от температуры почвы ($r = 0,77$). Разработанное уравнение позволило установить, что изменение температуры на ± 1 °C приводит к изменению скорости дыхания в сутки на $\pm 4,3$ кг/га ($R^2 = 0,59$). Не удалось вывести достоверное уравнение влияния влажности почвы на эмиссию CO₂ ($R^2 = 0,05$) в связи со слабой корреляцией изучаемых переменных ($r = 0,21$).

Заключение. Температура пахотного слоя почвы в течение вегетации в зависимости от температуры воздуха, видов культур и паров менялась в широком диапазоне. Под яровой пшеницей варьировала в диапазоне от 7,8 до

19,7 °C. В посевах люцерны температура почвы изменялась в диапазоне от 8,3 до 18,1 °C, в посевах кукурузы – от 7,9 до 20,7 °C. В черном пару варьирование составляло от 8,3 до 21,2 °C, а занятом пару – от 7,9 до 19,9 °C. Влажность почвы на изучаемых вариантах в слое 0-30 см варьировала в диапазоне 16,7–31,1 % в зависимости от количества выпавших осадков, видов возделываемых культур и паров.

Дыхание почвы под яровой пшеницей варьировало от 12,6 до 113,0 кг/га в сутки, под люцерной и кукурузой эмиссия диоксида углерода была выше – 32,6–151,0 и 17,0–146,7 кг/га в сутки соответственно. В паровых полях дыхание почвы было ниже – 13,6–71,9 кг/га в занятом и 12,6–64,2 кг/га в черном пару.

Проведенные расчеты обнаружили сильную связь между эмиссией диоксида углерода и температурой почвы в посевах яровой пшеницы ($r = 0,81$), люцерны ($r = 0,81$), кукурузы ($r = 0,91$), черном ($r = 0,77$) и занятом пару ($r = 0,77$). Это позволило установить, что изменение температуры почвы на ± 1 °C приводит к изменению эмиссии CO₂ в сутки по схеме: черный пар ($\pm 3,4$ кг/га) < занятый пар ($\pm 4,3$ кг/га) < яровая пшеница ($\pm 7,7$ кг/га) < кукуруза ($\pm 10,2$ кг/га) < люцерна ($\pm 10,5$ кг/га). Корреляция средней силы была отмечена между влажностью почвы и эмиссией CO₂ в посевах яровой пшеницы ($r = 0,66$), кукурузы ($r = 0,65$), люцерны ($r = 0,54$). В паровых полях была слабая корреляция ($r = 0,21$ – $0,22$). Разработанное уравнение позволило установить, что изменение влажности почвы на ± 1 % способствует изменению интенсивности эмиссии в сутки на $\pm 2,4$ кг/га в посевах яровой пшеницы, на $\pm 2,7$ кг/га в посевах люцерны и на 3,7 кг/га в посевах кукурузы.

Список источников

1. Bevacqua E., Schleussner C.F., Zscheischler J. A year above 1.5 °C signals that Earth is most probably within the 20-year period that will reach the Paris Agreement limit // *Nature Climate Change*. 2025. Vol. 15, N 3. Available at: <https://nature.com/articles/s41558-025-02246-9>. Accessed: 20.05.2025.
2. Cannon A.J. Twelve months at 1.5 °C signals earlier than expected breach of Paris Agreement threshold // *Nature Climate Change*. 2024. Vol. 15. P. 266–269. Available at: <https://nature.com/articles/s41558-025-02247-8>. Accessed: 20.05.2025.
3. Сычев В.Г., Налиухин А.Н. Изменение климата и углеродная нейтральность: современные вызовы перед аграрной наукой // *Плодородие*. 2021. № 5 (122). С. 3–7. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.01. EDN: YICBKG.

4. Урбан А.В., Прокушкин А.С., Корец М.А., и др. Влияние подстилающей поверхности на концентрации парниковых газов в атмосфере Центральной Сибири // География и природные ресурсы. 2019. № 3. С. 32–40. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-3(32-40). EDN: VQXMSU.
5. Комлацкий Г.В. Технологические аспекты снижения выбросов парниковых газов в животноводстве // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 181. С. 116–126. DOI: 10.21515/1990-4665-181-012. EDN: ZCNTZO.
6. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В., и др. Оценка косвенных выбросов закиси азота в результате сбора и хранения навоза и помета // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 1 (118). С. 4–16. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-1118-4-16. EDN: MCXYZM.
7. Ахметшина Л.Г., Порвадов М.Г., Шангутов А.О. Оценка выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных земель в концепте государственной экологической политики // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 6 (396). С. 566–571. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_6_566. EDN: UBNRIE
8. Ли С., Банецкая Е.В., Юй Ц., и др. Влияние длительного применения различных удобрений на популяции микроорганизмов и ферментативную активность почвы // Агронаука. 2023. Т. 1, № 1. С. 134–141. EDN: QTBRVB.
9. Касторнова М.Г., Демин Е.А., Еремин Д.И. Экологическая оценка влияния сельскохозяйственной деятельности на эмиссию углекислого газа из чернозема выщелоченного Тобол-Ишимского междуречья // Аграрный вестник Урала. 2021. № 10 (213). С. 9–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-213-10-10-20. EDN: OJTSDP.
10. Делаев У.А., Кобозева Т.П., Зузиев У.Г., и др. Особенности фиксации азота воздуха свободноживущими микроорганизмами и клубеньковыми бактериями в симбиозе с бобовыми культурами // Известия Чеченского государственного университета. 2018. № 4 (12). С. 68–71. EDN: YRQMJF.
11. Orlova O.V, Andronov E.E., Vorobyov N.I., et al. Composition and functioning of microbial communities in the decomposition of straw cereals in sod podzolic soil // Agricultural Biology. 2015. Vol. 50, № 3. P. 305–314. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.305rus. EDN: TXOPVH.
12. Бобренко И.А., Дрофа О.В., Гоман Н.В. Сезонная динамика эмиссии диоксида углерода разновозрастными залежами в зависимости от природной зоны Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2024. № 4 (56). С. 26–33. EDN: LAWWLM.
13. Bobrenko I., Kadermas I., Bobrenko E., et al. Carbon dioxide emission estimation in different zones of the south of Western Siberia // Bio Web of Conferences. 2024. P. 04027. DOI: 10.1051/bioconf/202413004027. EDN: FQQFYF.
14. Тулина А.С., Семенов В.М. Оценка чувствительности минерализуемого пула почвенного органического вещества к изменению температуры и влажности // Почвоведение. 2015. № 8. С. 952–962. DOI: 10.7868/S0032180X15080109. EDN: TZMCQP.
15. Демин Е.А., Миллер С.С., Ахтямова А.А. Влияние минеральных удобрений и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // Земледелие. 2024. № 1. С. 17–22. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-1-17-22. EDN: GIWLSZ.
16. Демин Е.А., Миллер С.С. Влияние температуры и влажности почвы на продуцирование диоксида углерода под действием различных способов основной обработки в условиях Зауралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 98–105. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-98-105. EDN: VFBMVH.
17. Камалова А.Р., Данилова Н.В., Курынцева П.А., и др. Рост растений и функциональное разнообразие микробиоты почвы при выращивании технической конопли *Cannabis sativa* L. в модельном опыте в условиях повышенной температуры // Сельскохозяйственная биология. 2025. Т. 60, № 1. С. 110–124. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.110rus. EDN: HEQFKY.
18. Чернов Т.И., Железова А.Д. Динамика микробных сообществ почвы в различных диапазонах времени (обзор) // Почвоведение. 2020. № 5. С. 590–600. DOI: 10.31857/S0032180X20050044. EDN: DMOCOO.

19. Еремин Д.И., Шахова О.А. Влияние основной обработки почвы на формирование корневой системы зерновых культур и многолетних трав в условиях лесостепи Зауралья // Агропродовольственная политика России. 2021. № 3. С. 11–14. DOI: 10.35524/2227-0280_2021_03_11. EDN: EQTVEY.
20. Эседуллаев С.Т., Шмелева Н.В. Особенности аккумуляции азота многолетними бобовыми травами в чистых и смешанных посевах в Верхневолжье // Плодородие. 2016. № 6 (93). С. 16–18. EDN: XBGZKJ.
21. Троц Н.М., Орлов С.В., Герасимов Е.С., и др. Накопление пожнивных и корневых остатков в севооборотах при применении технологии No-till в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1. С. 25–31. DOI: 10.55170/19973225_2023_8_1_25. EDN: SDVPAQ.

References

1. Bevacqua E, Schleussner CF, Zscheischler J. A year above 1.5 °C signals that Earth is most probably within the 20-year period that will reach the Paris Agreement limit. *Nature Climate Change*. 2025;15(3). Available at: <https://nature.com/articles/s41558-025-02246-9>. Accessed: 20.05.2025.
2. Cannon A.J. Twelve months at 1.5 °C signals earlier than expected breach of Paris Agreement threshold. *Nature Climate Change*. 2024;15:266-269. Available at: <https://nature.com/articles/s41558-025-02247-8>. Accessed: 20.05.2025.
3. Sychev VG, Naliukhin AN. Climate change and carbon neutrality: modern challenges for agriculture. *Plodородie*. 2021;5(122):3-7. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.01. EDN: YICBKG.
4. Urban AV, Prokushkin AS, Korets MA, et al. Influence of the Underlying Surface on Greenhouse Gas Concentrations in the Atmosphere Over Central Siberia. *Geography and Natural Resources*. 2019;40(3);221-229. (In Russ.). DOI: 10.1134/S1875372819030041. EDN: OKWJXJ.
5. Komlatsky GV. Technological aspects of greenhouse gases emission reduction in livestock. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(181):116-126. (In Russ.). DOI: 10.21515/1990-4665-181-012. EDN: ZCNTZO.
6. Briukhanov AYu, Shalavina EV, Vasilev EV, et al. Estimation of indirect nitrous oxide emissions from animal and poultry manure collection and storage. *AgroEcoEngineering*. 2024;1(118):4-16 (In Russ.). DOI: 10.24412/2713-2641-2024-1118-4-16. EDN: MCXYZM.
7. Akhmetshina, LG, Porvadov MG. Assessment of greenhouse gas emissions from the cultivation of agricultural land in the concept of state environmental policy. *Mezhdunarodnyj sel'skhozaystvennyj zhurnal*. 2023;6(396):566-571. (In Russ.). DOI: 10.55186/25876740_2023_66_6_566. EDN: UBNRIE.
8. Li S, Banetskaya EV, Yu Q, et al. The effect of long-term use of various fertilizers on microbial populations and soil enzymatic activity. *Agronauka*. 2023;(1):134-141. (in Russ.). EDN: QTBRVB.
9. Kastornova MG, Demin EA, Eremin DI. Ecological assessment of the impact of agricultural activity on carbon dioxide emissions from the leached chernozem of the Tobol-Ishim interfluv. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021;10(213):9-20. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-213-10-10-20. EDN: OJTSDP.
10. Delaev UA, Kobozeva TP, Zuziev UG, et al. Features of air nitrogen fixing by free-living microorganisms and club bacteria in symbiosis with pine cultures. *Izvestiya Chechenskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018;4(12):68-71. (In Russ.). EDN: YRQMJF.
11. Orlova OV, Andronov EE, Vorobyov NI, et al. Composition and functioning of microbial communities in the decomposition of straw cereals in sod podzolic soil. *Agricultural Biology*. 2015;50(3):305-314. DOI: 10.15389/agrobiol.2015.3.305rus. EDN: TXOPVH.
12. Bobrenko IA, Drofa OV, Goman NV. Seasonal dynamics of carbon dioxide emissions from deposits of different ages depending on the natural zone of Western Siberia. *Vestnik of Omsk SAU*. 2024;4(56):26-33. (In Russ.). EDN: LAWWLM.
13. Bobrenko I, Kadermas I, Bobrenko E, et al. Carbon dioxide emission estimation in different zones of the south of Western Siberia. *Bio Web of Conferences*. 2024;04027. DOI: 10.1051/bioconf/202413004027. EDN: FQQFYF.

14. Tulina AS, Semenov VM. Evaluation of the sensitivity of the mineralizable pool of soil organic matter to changes in temperature and moisture // *Eurasian Soil Science*. 2015;(8):952. (In Russ.). DOI: 10.1134/S1064229315080104. EDN: UFCHAP.
15. Demin EA, Miller SS, Akhtyamova AA. The influence of mineral fertilizers and soil temperature on carbon dioxide emissions in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals // *Agriculture*. 2024;(1):17-22. (In Russ.). DOI: 10.24412/0044-3913-2024-1-17-22. EDN: GIWLSZ.
16. Demin EA, Miller SS. The effect of temperature and soil moisture on carbon dioxide emission caused by various primary tillage methods in the Trans-Urals // *Economy of Russia*. 2025;17(1):98-105. (In Russ.). DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-98-105. EDN: VFBMVH.
17. Kamalova AR, Danilova NV, Kuryntseva PA, et al. Technical hemp *Cannabis sativa* L. Growth and functional diversity of soil microbiota in a model cultivation under elevated air temperatures // *Agricultural Biology*. 2025;60(1):110-124. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.110rus. EDN: HEQFKY.
18. Chernov TI, Zhelezova AD. The Dynamics of Soil Microbial Communities on Different Timescales: A Review // *Soil Science*. 2020;53(5):643-652. (In Russ.). DOI: 10.1134/S106422932005004X. EDN: VYMVMQ.
19. Eremin DI, Shakhova OA. Influence of the main tillage on the formation of the root system of grain crops and perennial grasses in the conditions of the forest-steppe of the Trans-Urals // *Agroproduktivnost' i politika Rossii*. 2021;(3):11-14. (In Russ.). DOI: 10.35524/2227-0280_2021_03_11. EDN: EQTVEY.
20. Esedullaev ST, Shmeleva NV. Features of nitrogen accumulation by perennial legumes in pure and mixed crops in the upper Volga Region // *Plodородие*. 2016;6(93):16-18. (In Russ.). EDN: XBGZKJ.
21. Trots NM, Orlov SV, Gerasimov ES, et al. Accumulation of stubble and root residues in cropped rotations when using the No-till technology in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga Region // *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2023;(1):25-31. (In Russ.). DOI: 10.55170/19973225_2023_8_1_25. EDN: SDVPAQ.

Статья принята к публикации 15.09.2025 / The article accepted for publication 15.09.2025.

Информация об авторах:

Евгений Александрович Демин, старший научный сотрудник Института фундаментальных и прикладных агробиотехнологий, кандидат сельскохозяйственных наук

Ольга Александровна Шахова, старший научный сотрудник Института фундаментальных и прикладных агробиотехнологий, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Станислав Сергеевич Миллер, старший научный сотрудник Института фундаментальных и прикладных агробиотехнологий, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Елена Ивановна Миллер, младший научный сотрудник Института фундаментальных и прикладных агробиотехнологий

Information about the authors:

Evgeny Alexandrovich Demin, Senior Researcher at the Institute of Fundamental and Applied Agricultural Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences

Olga Alexandrovna Shakhova, Senior Researcher at the Institute of Fundamental and Applied Agricultural Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Stanislav Sergeevich Miller, Senior Researcher at the Institute of Fundamental and Applied Agricultural Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Elena Ivanovna Miller, Junior Researcher at the Institute of Fundamental and Applied Agricultural Biotechnology